

논문 2004-41SD-2-4

슈도 랜덤 코드와 기하학 코드를 이용한 광학적 Angle Sensor (Optical Angle Sensor Using Pseudorandom-code And Geometry-code)

김희성*, 도규봉**

(Hui-Sung Kim and Kyu B. Doh)

요 약

Absolute optical angle 센서는 디지털 광학 장치의 핵심적인 부분이라고 말할 수 있으며, 이 장치의 목적은 Pseudorandom-code와 Geometry-code를 이용하여 코드화된 원판(coded disk)의 상대적/절대적 변위(Relative/Absolute angle position)를 해결하기 위함이다. 이 기술에서 디스크의 각 위치(Angular position)는 먼저 Pseudorandom-code에 의해 "Coarse" angle이 검출되어 결정되어지며, 그런 다음 Geometry-code의 Pixel 계산에 의해서 얻어지는 "Fine" angular position 데이터는, 7 μ m의 Line image 센서를 사용 시, 시스템의 0.006°분해능 결과를 구할 수 있다. 제안된 기술은 비접촉 반사 특성, 시스템의 높은 분해능, 상대적으로 간단한 코드 패턴 그리고 센서의 고유한 디지털 성질을 갖는 등 많은 면에서 새로운 방식이다. 더 나아가서 시스템은 두 개의 코드화된 원판에 적용하여 얻어진 절대 각의 변형(Absolute angular displacement)을 관찰하는 방식으로 쉽게 토크 센서로 변경할 수 있다. 제안된 센서의 디지털 광전 특성은 토크와 각을 동시에 측정함으로써 자동 차량 시스템에 사용 시 이상적인 시스템을 만든다. 본문에서는 코드화된 원판의 정확한 각 위치(Angular position)를 결정하기 위하여 Pseudorandom-code와 Geometry-code를 활용한 기술을 제안하며, 아이디어의 실행 가능성을 구현하는 실험 결과를 제시하였다.

Abstract

Absolute optical angle sensor is described that is an essentially digital opto-electronic device. Its purpose is to resolve the relative and absolute angle position of coded disk using Pseudorandom-code and Geometry-code. In this technique, the angular position of disk is determined in coarse sense first by Pseudorandom-code. A further fine angular position data based on pixel count is obtained by Geometry-code which result 0.006° resolution of the system provided that 7 μ m line image sensor are used. The proposed technique is novel in a number of aspects, such that it has the non-contact reflective nature, high resolution of the system, relatively simple code pattern, and inherent digital nature of the sensor. And what is more the system can be easily modified to torque sensor by applying two coded disks in a manner that observe the difference in absolute angular displacement. The digital opto-electronic nature of the proposed sensor, along with its reporting of both torque and angle, makes the system ideal for use in intelligent vehicle systems. In this communication, we propose a technique that utilizes Pseudorandom-code and Geometry-code to determine accurate angular position of coded disk. We present the experimental results to demonstrate the validity of the idea.

Keywords : Optical angle sensor, Opto-electronic device, Pseudorandom-code, Geometry-code

I. 서 론

차량 하위 시스템의 높은 적응성과 향상된 기능을 유지한 채 부품 크기의 소형화에 대한 요구가 증가함에 따라 자동차 부품 공급자들은 전자 장치와 전기 파워

* 학생회원, ** 정회원 한국항공대학교 전자정보통신 컴퓨터공학부
※ 본 연구는 한국 과학 재단의 지역 협력 센터인 인터넷 종합 검색 센터(Grant No. R12-2001 -051-00007-0)와 (주) 만도의 지원으로 수행되었음.

접수일자 : 2003년 3월 25일, 수정완료일 : 2004년 2월 9일

조향 장치를 이전의 차량 조향 시스템에 도입하였다. 바퀴의 정확한 Angle position을 측정하기 위하여 광학 angle 센서 기술이 점점 보편적으로 확산되고 있다^[1-5]. 광학 angle 센서 기술은 코드화된 원판의 상대적, 절대적 변위(Relative /Absolute angle displacement)를 측정하는 것으로 변위의 각 위치(angular position)를 전기 신호나 디지털 신호로 변환하며, 광학 부호기(Optical encoder)는 구동 샤프트와 직접적인 관련이 있다. 이 기술은 차량 부품 공급자들에게 동일한 성능을 유지한 채

부품의 크기를 줄일 수 있도록 기여하며, 또한 그 성능을 향상시키게 한다. Angle 센서의 분해능은 일반적으로 회전축에 부여된 선형적 회전 위치 부호기로부터의 직접적 position을 기반으로 한다^[6-8]. 광학 부호기는 일반적으로 높은 정확성을 가지는 Photo-lithography로 제작된 유리 종류에 새긴다. 기본 광학 부호기는 10~100 μ m의 Grating pitch를 가지고 있고 전형적으로 이러한 선형 부호기의 위치 분해능은 0.5~10 μ m의 범위에 있으며 이는 Quadrature 신호의 전자적 Interpolation에 기인한다. 높은 분해능을 가지는 광학 선형 부호기는 0.5~8 μ m 간격의 Fine grid로 관찰하여 0.01~0.5 μ m만큼의 작은 위치 증감도 검출한다^[5]. 본문에서 설명하는 Absolute optical angle 센서는 디지털 광전 장치의 핵심적인 부분으로서, 이 장치의 목적은 Pseudorandom-code와 Geometry-code를 이용하여 코드화된 원판의 상대적/절대적 위치(Relative/Absolute angle position)를 해결하기 위함이다. 본 논문에서는 정확한 각 위치(angular position)를 결정하기 위하여 Pseudorandom-code와 Geometry-code를 활용한 기술을 연구한다.

II. ABSOLUTE OPTICAL ANGLE SENSOR (AOAS)

전기적 파워 조향 시스템은 기본적으로 바퀴와 연결된 입력 샤프트 요소와 결합되어 있다. 입력 샤프트는 중앙 조향 위치의 좌우 어느 방향이든 한두번 회전으로 각을 회전시키는데 필요하다. 제안된 Absolute optical angle 센서는 Pseudorandom-code와 Geometry-code를 이용하여 코드화된 원판의 상대적, 절대적 위치(Relative /Absolute angle position)를 측정하기 위한 디지털 광학 장치이다. 장치는 Sensing 요소와 Grating 요소, 두 가지 중요한 부분으로 구성되는데, Sensing 요소는 Photo-emitting 광원과 Grating 요소로부터 반사된 광을 측정하는 하나 이상의 Light Sensitive Photo-detector의 배열로 구성되며, Grating 요소는 입사광을 복사하기 위한 고저의 투광성이나 반사성을 가진 부호화된 Grating 영역으로 구성된다. 그림 1 (a)은 샤프트의 회전축 방향으로 배열된 Pseudorandom-code와 Geometry-code 그리고 Line image 센서를 보여주고 있으며, 그림 1 (b)은 코드화된 원판의 실물 모형이다. Grating 영역은 샤프트의 각 위치(Angular position)에

관계없이 grating된 code의 연속적인 출력이 되도록 하는 특성을 가지고 UV, 가시광선 또는 IR광 같은 광원이 coded grating 패턴을 조명하면 복사광은 grating 영역을 통해 변조된다. 변조된 광은 Photo-detector 배열 상에 패턴을 발생시키고 Detector 배열의 출력은 샤프트에 적용한 상대적 또는 절대적 위치가 유도되도록 프로세싱 될 수 있다. Sensing 프로세서의 간단한 블록 다이어그램과 시스템 보드의 실물 모형은 그림 2 (a), (b)에 각각 보이고 있다. 원판의 각 위치(angular position)는 먼저 Pseudorandom-code에 의해 “Coarse” angle이 검출되어 결정되어지며, 그런 다음 더욱 정확한 “Fine” angular position 데이터는 Geometry-code에서 얻어지는 Pixel 계산에 의하여 결정된다. Pseudorandom-code와 Geometry-code는 원통 면에 차례로 위치하고 있으며, code 영역과 Photo-array 사이의 거리는 최소화되는 것이 필요하고, 그림으로써 Scattering effect는 별도의 초점을 맞추기 위한 광학 장치를 사용하지 않고 광원을 사용할 수 있는 정도까지 감소될 수 있다.

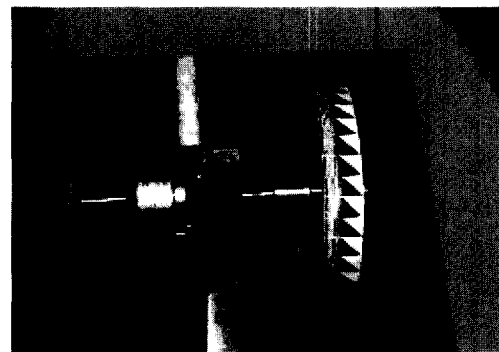
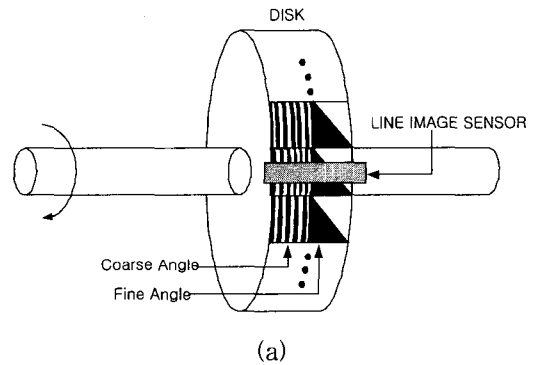


그림 1. (a) Pseudorandom-code와 Geometry-code의 코드 패턴
 (b) 코드화된 원판(Coded disk)의 실물 모형
 Fig. 1. (a) Code pattern, Pseudorandom-code and Geometry-code, with Line image sensor
 (b) Photograph of the coded disk.

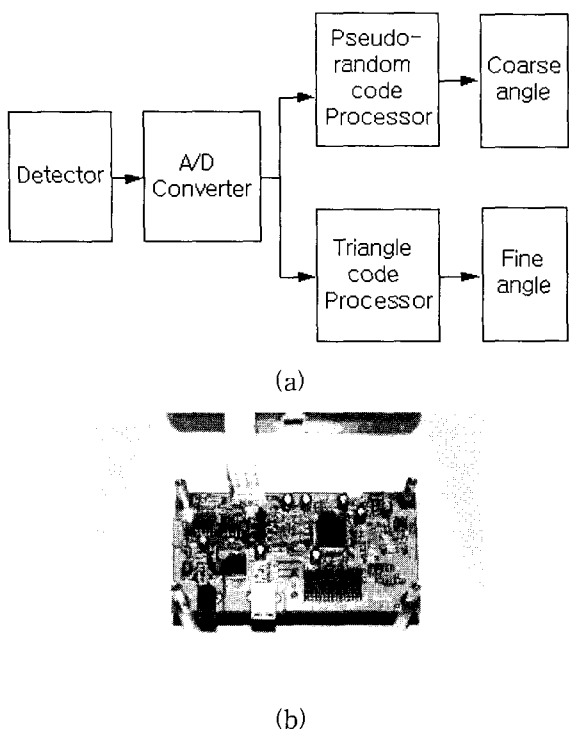


그림 2. (a) 감지 프로세서의 간단한 블록 다이어그램
(b) 시스템 보드의 실물 모형
Fig. 2. (a) Simplified block diagram of the sensing processor
(b) Photograph of the system board

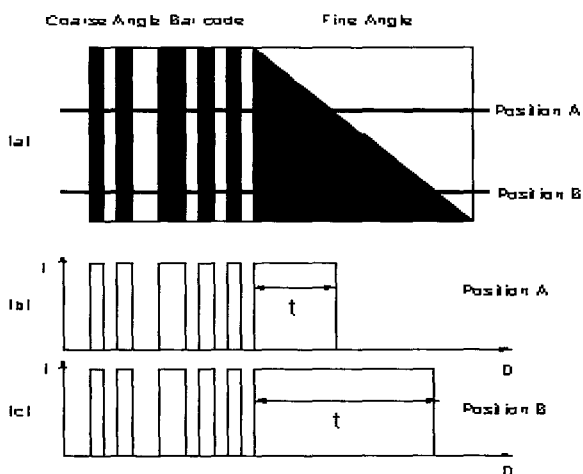


그림 3. Pseudorandom-code와 Geometry-code의 검출 방식, 그림 (b)와 (c)는 A와 B 위치에 상응하는 출력
Fig. 3. A detecting method of Pseudorandom-code and Geometry-code, Fig. (b) and (c) show the outputs corresponding position A and B respectively.

그림 1에서 보인 샤프트가 회전하도록 동력이 작용할 때, Line image 센서에 의해 검출되는 각 위치(Angular position)는 그림 3 (a)에 보이는 것과 같이 A 위치라고 가정하자. Line image 센서는 그림 3 (b)에 보이는 것처럼 A 위치에 상응하는 출력을 발생시킨다. 임의의 다음 측정 위치인 그림 3 (a)의 B 위치로 움직이게 되면, 발생하는 출력은 그림 3 (c)와 같이 나타나게 되며, 앞부분인 바코드처럼 보이는 Pseudorandom-code는 먼저 대략적으로 감지되는 샤프트 원판의 현재 각 위치(Angular position)를 유도하는 데 사용된다. 다음 부분인 Geometry-code라고 명명된 직각 삼각형 모양의 code는 현재 위치의 보다 정확한 각 위치(Angular position)를 산출하는 Pixel 수의 정보를 제공한다. 그림 3에서 너비 “t”는 Geometry-code에 기인하며 Line image 센서에 의해 발생된다. 코드화된 원판이 각 위치(Angular position) A에서 B로 회전한다고 가정하였을 때, 주어진 위치에 대한 원판의 상대적, 절대적 위치의 차이는 Pseudorandom-code와 Geometry-code에서 얻어진 데이터로부터 유도될 수 있다. 표 1은 원판의 반지름, Pseudorandom-code와 Geometry-code의 길이, 그리고 적용된 Line image 센서의 Pixel 분해능에 입각한 이론적인 분해능을 보인다.

표 1. 원판의 반지름, Pseudorandom-code와 Geometry-code의 길이 그리고 Line image sensor의 분해능에 입각한 이론적 분해능

Table 1. Theoretical resolution based on the radius of the disk, the lengths of Pseudorandom-code and Geometry-code, and resolution of Line image sensor.

Radius of disk	60 mm			
	7 μm × 7 μm		82 μm × 82 μm	
Sensor pixel resolution	7 μm × 7 μm		82 μm × 82 μm	
Pseudorandom-code length	3 mm	10 mm	3 mm	10 mm
Pseudorandom-code number	125	37	125	37
Pseudorandom-code resolution	2.88°	9.72973°	2.88°	9.72973°
Pixel number	429	1428	60	121
Pixel resolution	0.006713°	0.0068135°	0.08°	0.080411°

III. EXPERIMENTAL RESULTS

82μm×82μm의 Pixel 크기를 가지는 Line image 센서는 코드화된 원판의 상대적, 절대적 위치(Relative/Absolute

angle position)를 측정하는데 사용되었다. 각 위치 (Angular position)가 검출되는 원판의 원통 너비가 20 mm이고 반지름이 60mm이다. 크기가 각각 10mm×10mm인 Pseudorandom-code와 Geometry-code는 샤프트의 축과 병렬로 차례로 원판에 grating 되었다. 원판의 위치는 바코드로 부호화된 15 bit의 슈도 랜덤 이진 순서에 의해 대략적으로 감지되어 정해진다. 부호화된 바코드는 실험 목적 구현에 간편하고 사용하기 쉽기 때문에 사용되었다. 더욱 세밀한 원판의 위치 정보는 최대 너비가 121 Pixel로 구성된 Geometry-code에 의해 정확하게 감지되어 정해진다. 그림 4 (a)와 (b)는 각 위치 (Angular position) A와 B의 Line image 센서에 의해 검출되는 Pseudorandom-code와 Geometry-code의 아날로그 파형을 각각 나타내고 있다. 그림 4 (c)와 (d)는 A/D Converter를 통과한 후 그림 4 (a)와 (b)의 디지털 출력을 보인다. 그림 4 (c)와 (d)에서 변동하는 파형 형식은 “Coarse” angular position의 정보를 제공하는 Pseudorandom-code를 나타내고 상대적으로 연속되는 파형 형식은 “Fine” angular position의 정보를 제공하는 Geometry-code를 나타낸다. Geometry-code가 각 위치 (Angular position)에 따라서 넓어지고 좁아지는 부분을 주목하자. 그림 5는 코드화된 원판의 산술적 angular 포인트로 처리된 출력을 나타내고 있으며, 이 출력으로부터 상대적, 절대적 위치의 차이를 유도하고자 한다. 그림 5에서 (a)가 가리키는 원은 각각 Pseudorandom-code의 100010101001000와 100011000101000인 이진 코드를 나타내고, 같은 그림에서 (b)가 가리키는 원은 각각 81 Pixel과 20 Pixel로 Pixel 수에 의해 정의된 Geometry-code 위치를 보인다. 그림 6에서 보이는 Pseudorandom의 이진 코드를 주목하면 앞부분에 있는 이진 1000은 시작 비트 코드를 나타내고 뒷부분에 있는 1000은 종결 비트를 나타낸다. 코드 1011100과 1100010은 코드화된 원판의 일정한 상대적, 절대적 위치를 제공한다. 위치 데이터의 다음 Pixel은 주어진 일정한 코드 내에서 Geometry-code에 의해 얻어진다.

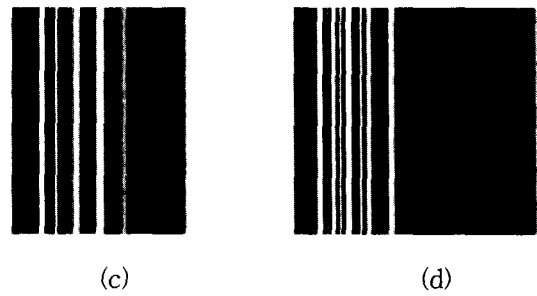


그림 4. (a), (b) Angular position A와 B에서 Line image sensor로 검출한 Pseudorandom-code와 Geometry-code의 아날로그 파형 (c), (d) 그림 4 (a)와 (b)의 디지털 출력
 Fig. 4. (a), (b) The analog wave forms of Pseudorandom-code and Geometry-code detected by Line image sensor at angular position A and B respectively (c), (d) The digital outputs of Fig. 4 (a) and (d) respectively.

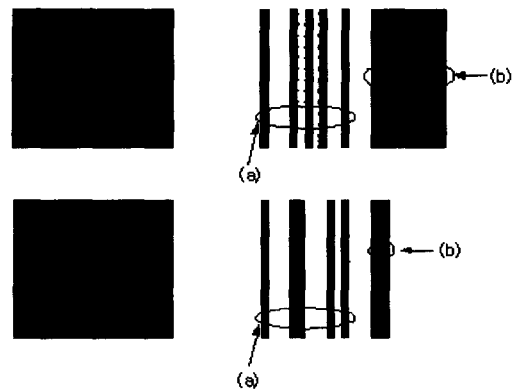


그림 5. 코드화된 원판(coded disk)의 산술적 angular 포인트로 처리된 출력
 Fig. 5. The processed outputs at arbitrary angular points of the coded disk.

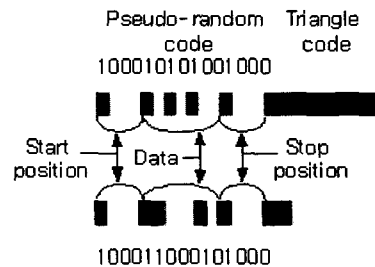


그림 6. 시작 비트와 종결 비트를 가진 Pseudorandom-code와 Pixel 정보를 가진 Geometry-code의 이진 출력
 Fig. 6. The binary outputs of Pseudorandom-code with start and stop bit, and Geometry-code with pixel information.

0.08°의 시스템 분해능은 82 μ m×82 μ m의 Line image 센서를 사용하여 실험적으로 성취하였으며, 0.006°의 시스템 분해능은 7 μ m의 Line image 센서가 제공되면 검출할 수 있다.

IV. CONCLUSION AND REMARKS

본 연구의 목적은 높은 분해능을 가지는 상대적, 절대적 위치 (Relative/Absolute angle position)를 추출하기 위한 Pseudorandom-code와 Geometry-code 이용의 실현 가능성을 보이는 것이다. 제안된 기술에 기인한 광학 센서의 설계와 구현을 실행하였다. 분해능은 82 μ m×82 μ m의 Line image 센서를 사용하였을 때, 시스템의 분해능이 0.08°라는 실험 결과를 얻었고, 시스템의 0.006°분해능은 7 μ m의 Line image 센서가 제공되면 결과로 얻을 수 있다. 제안된 기술은 비접촉 반사 특성, 시스템의 높은 분해능, 상대적으로 간단한 코드 패턴 그리고 센서의 고유한 디지털 특성을 갖는 등 많은 면에서 새로운 방식이다. 그에 더해서 시스템은 두 개의 코드화된 원판에 적용하여 얻어진 Absolute angular displacement를 관찰하는 방식으로 쉽게 토크 센서로 변경할 수 있다. 제안된 센서의 디지털 광학 특성은 토크와 각을 동시에 측정함으로써 자동 차량 시스템에서 사용 시 이상적인 시스템을 만든다. 코드화된 원판의 정확한 각 위치(Angular position)를 측정하기 위하여 Pseudorandom-code와 Geometry-code를 활용한 실험을 하였으며, 아이디어의 구현 가능성을 입증하는 실험 결과를 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] Maschera, D.; Simoni, A.; Gottardi, M.; Gonzo, L.; Gregori, S.; Liberali, V.; Torelli, G., "An automatically compensated readout channel for rotary encoder systems," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, Volume : 50 Issue : 6, pp. 1801-1807, Dec. 2001.
- [2] Postolache, O.; Pereira, M.; Girao, P., "Laser based smart displacement sensor," *Sensor for Industry, Proceedings of the First ISA/IEEE Conference*, pp. 149 -154, 2001.
- [3] K. Eisenhauer et al., "Opto-Electronic Torque, Absolute Angle and Rate Sensor for EPAS and EHPAS Steering Applications," *SAE paper 1999-01-1035*, 1999.
- [4] A. Mortara et al., "An Opto-Electronic 18B/ Revolution Absolute Angle and Torque Sensor for Automotive Steering Applications," *IEEE International solid-state Circuits Conference paper*, pp. 182-183, 2000.
- [5] K. Engelhardt and P. Seitz, "High-resolution Optical Position Encoder with Large Mounting Tolerances," *Appl. Opt.* 36, 1 May, 1997.
- [6] E. M. Petriu, "Absolute-type position transducers using pseudo-random encoding," *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM, 36, 950-955, 1987.
- [7] Hagiwara, N.; Suzuki, Y.; Murase, H., "A method of improving the resolution and accuracy of rotary encoders using a code compensation technique," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, Volume : 41 Issue : 1, pp. 98-101, Feb. 1992.
- [8] M. durana, R. Gally, and P. Robert, "Absolute position detector for an apparatus for measuring Linear angular values," *U.S. patent 5,235,181*, 10 aug. 1993.

 저 자 소 개



김 희 성(학생회원)

2002년 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업,

2004년 현재 한국항공대학교 정보통신공학과 석사과정.

<주관심분야 : 광정보처리, 광정보보안, 광센서, 홀로그래프>



도 규 봉(정회원)

1989년 Virginia Polytechnic Institute and State university 전기공학과 졸업(BS),

1992년 동대학원 전기공학과 졸업(MS),

1996년 동대학원 전기공학과 졸업(Ph.D).

1997년 3월 ~ 현재 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부 교수

<주관심분야 : Optical information /image Processing, Optical Security, Optical Fiber Sensor, 광통신, Electron-Holography.>